

## BEST AVAILABLE COPY

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-248921

(43)Date of publication of application : 03.09.2002

(51)Int.Cl.

B60G 17/015

(21)Application number : 2001-045720

(71)Applicant : TOYOTA CENTRAL RES & DEV LAB  
INC

TOYOTA MOTOR CORP

(22)Date of filing : 21.02.2001

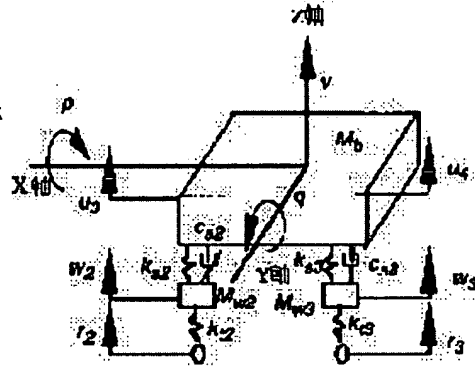
(72)Inventor : NAKAI HIDEO  
KAMIMURA KAZUNARI  
OSAKU SATORU

## (54) CONTROL SYSTEM FOR SUSPENSION SYSTEM FOR VEHICLE

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To generate vibration control force against vibration for each mode of rolling, pitching and heaving v. of a body by shock absorbers equipped to four wheels.

SOLUTION: The modes subject to vibration control are three degrees of freedom, i.e., rolling p, pitching q and heaving v. The damping force  $c_{si}$  generated by the shock absorbers for controlling the vibration consists of four degrees of freedom because of the four wheels. By making the remaining one degree of freedom so that the sum total of the damping force for each wheel is minimized, the damping force for each wheels is determined.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision]

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

# BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-248921

(P2002-248921A)

(43) 公開日 平成14年9月3日 (2002.9.3)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

B 6 0 G 17/015

識別記号

F I

B 6 0 G 17/015

テームコード\* (参考)

A 3 D 0 0 1

B

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2001-45720 (P2001-45720)

(22) 出願日 平成13年2月21日 (2001.2.21)

(71) 出願人 000003609

株式会社豊田中央研究所

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地  
地の1

(71) 出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社

愛知県豊田市トヨタ町1番地

(72) 発明者 中井 英雄

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(74) 代理人 100075258

弁理士 吉田 研二 (外2名)

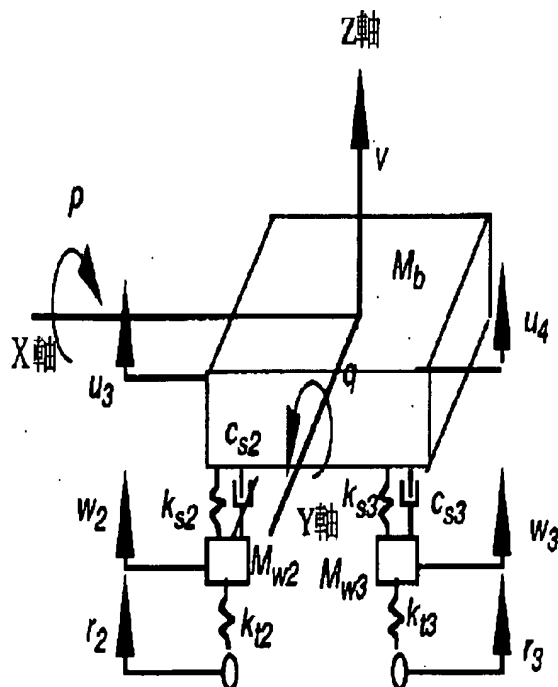
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 車両用懸架装置の制御装置

(57) 【要約】

【課題】 車体のロール、ピッチ、ヒーブの各モード振動に対し、4輪に備えられたショックアブソーバにより制振力を発生する。

【解決手段】 振動の抑制対象となるモードは、ロール  $p$ 、ピッチ  $q$ 、ヒーブ  $v$  の3自由度である。この振動を抑制するためのショックアブソーバで発生する減衰力  $c_{si}$  は、車輪が4輪あるので、4自由度である。残りの1自由度を各輪減衰力の総和が最小となるようにすることにより、各輪減衰力  $c_{si}$  を決定する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 個々の車輪と車体の間に備えられ、当該車輪と車体の間に作用する力を調整可能なアクチュエータを備えた車両用懸架装置の制御装置であって、測定された車体のロール、ピッチ、ヒープの各々のモードの振動に対し、各モードに対する振動抑制力を算出する車体振動抑制力算出手段と、

前記車体振動抑制力を前記アクチュエータにより発生させるために、個々のアクチュエータの車輪と車体の間に作用する各輪振動抑制力を算出し、この力が発生するようにアクチュエータを制御するアクチュエータ制御手段と、を有し、

前記アクチュエータ制御手段は、各輪振動抑制力の総和が最小となるように個々の各輪振動抑制力を算出する、車両用懸架装置の制御装置。

【請求項 2】 個々の車輪と車体の間に備えられ、当該車輪と車体の間に作用する力を調整可能なアクチュエータを備えた車両用懸架装置の制御装置であって、測定された車体のロール、ピッチ、ヒープの各々のモードの振動に対し、各モードの速度成分に比例した、車体に対する振動抑制力を算出する車体振動抑制力算出手段と、

前記車体振動抑制力を前記アクチュエータにより発生させるために、個々のアクチュエータの車輪と車体の間に作用する各輪振動抑制力を算出し、この力が発生するようにアクチュエータを制御するアクチュエータ制御手段と、を有し、

前記アクチュエータ制御手段は、各輪振動抑制力の総和が最小となるように個々の各輪振動抑制力を算出する、車両用懸架装置の制御装置。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 に記載の車両用懸架装置の制御装置において、前記アクチュエータは、減衰力を調整可能なショックアブソーバである車両用懸架装置の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、車両用懸架装置に関し、特に車体と車輪の間に設けられたアクチュエータによる車体の振動抑制に関する。

【0002】

【従来の技術】 車輪から車体への入力や、車体に作用する慣性力などに応じて、懸架装置の特性を変化させ、振動抑制や姿勢制御を行う車両用懸架装置が知られている。懸架装置の特性を変化させるために、車体の車輪の間に設けられ、減衰係数を変更可能なショックアブソーバを備えた懸架装置が知られている。また、車体と車輪の間に伸縮自在なアクチュエータを配置し、能動的に車体と車輪間の距離（以下、ストロークと記す）を制御し、姿勢制御等を行う懸架装置も知られている。

【0003】 特開平 7-285311 号公報には、アク

チュエータにより能動的にストロークを制御する車両用懸架装置が開示されている。この装置では、ヒープ（バウンス）、ロール、ピッチの各モードの振動を個別に検知し、ロールとピッチに関しては、大きい方のモードを優先して制御が行われる。例えば、ロールが大きい場合には、ロールとヒープの振動抑制が優先するように制御が行われる。また、この装置においては、ロール、ヒープ、ピッチの各モードの振動抑制力に加えて車高を制御する力を用いることにより、車両の 4 輪に備えられたアクチュエータ個々の発生する力を一意に決定している。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 前述の公報に記載の装置においては、能動的にストロークを制御可能なアクチュエータを備えているため車高を制御することが可能であったが、このようなアクチュエータを備えていない車両においては、その制御方法を適用することができなかった。例えば、減衰力を制御可能なショックアブソーバを備えた懸架装置においては、ストロークの変化に応じた減衰力を発生させることはできても、ストロークを自ら伸縮させることはできない。したがって、このような懸架装置を備えた車両においては、前記公報の装置における車高を制御する力を発生することができない場合があり、適切な制御を行えないという問題があった。

【0005】 本発明は、前述の課題を解決するためになされたものであり、能動的にストロークの制御を行うことができない懸架装置においても、ロール、ヒープ、ピッチの各モードに対する振動抑制力を各車輪にて発生可能とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】 前述の課題を解決するために、本発明にかかる車両用懸架装置の制御装置は、測定された車体のロール、ピッチ、ヒープの各々のモードの振動に対し、これを抑制するために各モードが必要とする振動抑制力を算出する。そして、この車体振動抑制力を発生させるために、個々の車輪と車体の間に作用させるべき力である各輪振動抑制力を求める。このとき、制御すべきモードがロール、ピッチ、ヒープの 3 自由度であるのに対し、各輪振動抑制力は、4 輪に対応して 4 自由度である。したがって、各輪振動抑制力を決定するために、各輪振動抑制力の総和が最小となるという条件を加える。そして、算出された各輪振動抑制力を発生するように個々の車輪に設けられたアクチュエータを制御する。

【0007】 また、前記振動抑制力は、車体の各振動モードの速度成分に比例したものとすることができる。

【0008】 車体各モードが必要とする制振力を本発明では以下のように定めた。

【0009】 まず、ステアリングに取り付けた角度センサ出力、アクセルペダルに取り付けた角度センサ出力、ブレーキペダルに取り付けた角度センサ出力から得られ

る操作情報、車車間通信やGPS（全地球測位システム）、地図情報等により得られる外部情報により、車体挙動が生じる前に、フィードフォワードにより車体各モードの制振力を決める。もう少し詳細に述べると、ステアリングセンサ情報や外部情報により、車両が旋回する場合には、あらかじめロール方向減衰係数を上昇させる。また、アクセルやブレーキのセンサ情報や外部情報により車両が加減速する場合には、あらかじめピッチング方向の減衰係数を上昇させる。

【0010】一方、車体上下速度と変位、車体ロール角度と角速度、車体ピッチ角度と角速度などの車体各部の状態量（車両挙動）を用いて、車両挙動が生じた後に、フィードバックにより車体各モードの制振力を決める。これについては、現代制御理論を用いフィードバックゲインを決めることにより実現した。

【0011】そして、上記二つの車体各モードの制振力に適当な重みを付けることにより重み付けした制振力を加算することにより、制御で用いる車体各モードの制振力を決めることもできる。

【0012】アクチュエータが能動的に動作可能なもの、例えば流体圧アクチュエータであれば、各輪振動抑制力の総和が最小となるようにしているので、流体圧源の負荷が減少する。

【0013】また、アクチュエータが減衰力を調整可能なショックアブソーバであり、能動的には動作しないものであっても、各輪振動抑制力をショックアブソーバの発生する減衰力とすれば、車体振動の抑制が可能となる。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態（以下実施形態という）を、図面に従って説明する。図1は車両モデル、また図2は単輪モデルを示している。質量M<sub>b</sub>を有する車体の前後方向にX軸、水平面内であってX

軸に直交する方向にY軸、そして、X軸およびY軸に直交する方向にZ軸をとる。また、これらのX、Y、Z軸は、車体の重心を通る。X軸周りの回転速度をp、Y軸周りの回転速度をq、Z軸方向の車体重心の速度をzとする。また、以下の説明においては、X軸周りの運動に関する定数または変数には添え字pを、Y軸周りの運動に関する定数または変数には添え字qを、Z軸方向の重心の運動に関する定数または変数には添え字vを付す。また、車両に備えられた4輪に関する定数には、右前輪に添え字1を、左前輪に添え字2を、左後輪に添え字3を、右後輪に添え字4を付す。各輪に関するばね下質量をM<sub>wi</sub>（i=1~4、以下同様）、車輪のZ軸方向速度をw<sub>i</sub>、ばね上ばね下間のばねのばね定数、ショックアブソーバの減衰係数をそれぞれk<sub>si</sub>、c<sub>si</sub>とする。また、各輪の接地点の路面変位をr<sub>i</sub>、タイヤに相当するばね定数をk<sub>ti</sub>とする。このモデルにおいては、車体に関して、Z軸並進運動、X軸周りの回転運動、Y軸周りの回転運動の3つの自由度を有し、車輪に関してはZ軸並進運動の1自由度である。車輪は4個あるので、このモデルの全自由度は、7自由度となる。

【0015】図1の車両モデルにおいて、車体の運動を記述するZ軸方向の並進運動、X軸周りの回転運動、Y軸周りの回転運動に関する運動方程式を、それぞれ次式（1）～（3）に示す。なお、z<sub>v</sub>は車体重心のZ軸方向の変位、z<sub>si</sub>は各輪懸架装置の伸縮速度、s<sub>i</sub>は各輪懸架装置の伸縮変位、f<sub>ci</sub>はショックアブソーバの発生する減衰力、I<sub>x</sub>、I<sub>y</sub>はそれぞれX軸、Y軸周りの車体の慣性モーメント、D<sub>f</sub>、D<sub>r</sub>はそれぞれ前後輪のトレッド、L<sub>f</sub>、L<sub>r</sub>はそれぞれ前後車軸と重心との距離である。

【0016】

【数1】

$$M_b \ddot{z}_v = \sum_{i=1}^2 (k_{si} z_{si} + f_{ci}) + \sum_{i=3}^4 (k_{si} z_{si} + f_{ci}) \quad (1)$$

$$I_x \dot{p} = 0.5 D_f (-k_{s1} z_{s1} - f_{c1} + k_{s2} z_{s2} + f_{c2}) + 0.5 D_r (-k_{s3} z_{s3} - f_{c3} + k_{s4} z_{s4} + f_{c4}) \quad (2)$$

$$I_y \dot{q} = -L_f (k_{s1} z_{s1} + f_{c1} + k_{s2} z_{s2} + f_{c2}) + L_r (k_{s3} z_{s3} + f_{c3} + k_{s4} z_{s4} + f_{c4}) \quad (3)$$

【0017】さらに、ばね下の運動、すなわち前輪のZ軸方向の運動および後輪のZ軸方向の運動を、それぞれ式（4）、（5）に示す。

【0018】

【数2】

$$M_{wi} \ddot{z}_{wi} = -K_{si} z_{si} - f_{ci} - K_{ti} (z_{wi} - z_{ri}) \quad (i=1,2) \quad (4)$$

$$M_{wi} \ddot{z}_{wi} = -K_{si} z_{si} - f_{ci} - K_{ti} (z_{wi} - z_{ri}) \quad (i=3,4) \quad (5)$$

【0019】各輪の懸架装置の伸縮速度z<sub>si</sub>および伸縮

変位s<sub>i</sub>を、それぞれ式（6）、（7）に示す。

【0020】

【数3】

$$\left. \begin{aligned} z_{s1} &= z_{w1} - (z_v - 0.5D_f z_p - L_f z_q) \\ z_{s2} &= z_{w2} - (z_v + 0.5D_f z_p - L_f z_q) \\ z_{s3} &= z_{w3} - (z_v + 0.5D_r z_p + L_f z_q) \\ z_{s4} &= z_{w4} - (z_v - 0.5D_r z_p + L_f z_q) \end{aligned} \right\} (6)$$

$$\left. \begin{aligned} s_1 &= w_1 - (v - 0.5D_f p - L_f q) \\ s_2 &= w_2 - (v + 0.5D_f p - L_f q) \\ s_3 &= w_3 - (v + 0.5D_r p + L_f q) \\ s_4 &= w_4 - (v - 0.5D_r p + L_f q) \end{aligned} \right\} (7)$$

$$\dot{x} = Ax + B_u u + B_w w \quad (8)$$

$$x = (v \quad z_v \quad p \quad z_p \quad q \quad z_q \quad w_1 \quad z_{w1} \quad w_2 \quad z_{w2} \quad w_3 \quad z_{w3} \quad w_4 \quad z_{w4})^T \quad (9)$$

$$u = (f_{c1} \quad f_{c2} \quad f_{c3} \quad f_{c4})^T \quad (10)$$

$$w = (z_{r1} \quad z_{r2} \quad z_{r3} \quad z_{r4})^T \quad (11)$$

【0023】従来、減衰力制御懸架装置に適用されているスカイフック制御法（以下、SH制御法と記す）は、個々の車輪ごとに適用される。すなわち、各輪間の相互作用を無視し、各輪独立で減衰係数を制御している。つまり、この制御方法においては、車体モードの概念がないので、最終的な制御対象となる車体の運動をチューニングするためには、多くの試行錯誤が必要となる。

【0024】このSH制御法は、車体モードごとのチューニングは難しいが、適切なチューニングがなされた場

【0021】さらに、式（1）～（4）の運動方程式を次式（8）の状態方程式で表す。ここで、 $A$ 、 $B_u$ 、 $B_w$ は、式（1）～（4）の運動方程式より決まる係数行列であり、 $x$ 、 $u$ 、 $w$ は、式（9）～（11）で決まるベクトルである。

【0022】

【数4】

合には、良好な乗り心地が実現されている。そこで、車体速度に比例した減衰力を発生するSH制御法の考え方は踏襲し、車体モードごとのチューニングを容易にした制御法であるモード非干渉化制御法（以下、MD制御法と記す）について説明する。

【0025】前述の式（8）の運動方程式の係数行列 $B_u$ は、次式（12）にて表される。

【0026】

【数5】

$$B_u = \begin{pmatrix} 1/M_b & 1/M_b & 1/M_b & 1/M_b \\ 0_{1 \times 4} & & & \\ -D_1/2I_x & D_1/2I_x & -D_1/2I_x & D_1/2I_x \\ 0_{1 \times 4} & & & \\ -L_1/I_y & -L_1/I_y & L_1/I_y & L_1/I_y \\ 0_{1 \times 4} & & & \\ -1/M_{w1} & 0 & 0 & 0 \\ 0_{1 \times 4} & & & \\ 0 & -1/M_{w2} & 0 & 0 \\ 0_{1 \times 4} & & & \\ 0 & 0 & -1/M_{w3} & 0 \\ 0_{1 \times 4} & & & \\ 0 & 0 & 0 & -1/M_{w4} \\ 0_{1 \times 4} & & & \end{pmatrix} \quad (12)$$

【0027】車体速度に比例した減衰力を発生させるために、個々では  $u = Ku \cdot x$  のフィードバックゲイン  $Ku$  のうち車体速度に完成しない要素は0とする。

【0028】  
【数6】

$$K_u = \begin{pmatrix} K_{v1} & K_{p1} & K_{q1} \\ K_{v2} & K_{p2} & K_{q2} \\ K_{v3} & K_{p3} & K_{q3} \\ K_{v4} & K_{p4} & K_{q4} \end{pmatrix} \begin{matrix} 0_{4 \times 1} & 0_{4 \times 1} & 0_{4 \times 8} \end{matrix} \quad (13)$$

【0029】式(12)、(13)の  $B_u$ 、 $K_u$  から車体速度に関する要素のみを取り出した行列  $M$ 、 $K$  を次式(14)、(15)のように定義する。

【0030】

【数7】

$$M = \begin{pmatrix} 1/M_b & 1/M_b & 1/M_b & 1/M_b \\ -D_1/2I_x & D_1/2I_x & -D_1/2I_x & D_1/2I_x \\ -L_1/I_y & -L_1/I_y & L_1/I_y & L_1/I_y \end{pmatrix} \quad (14)$$

$$K = \begin{pmatrix} K_{v1} & K_{p1} & K_{q1} \\ K_{v2} & K_{p2} & K_{q2} \\ K_{v3} & K_{p3} & K_{q3} \\ K_{v4} & K_{p4} & K_{q4} \end{pmatrix} \quad (15)$$

【0031】ここで、各モードの速度成分に比例した減衰力を発生するためには、行列  $M$ 、 $K$  の積  $MK$  が次式(16)のようになる必要がある。なお、 $C_v$ 、 $C_p$ 、 $C_q$  はモードごとの減衰係数定数である。

【0032】

【数8】

$$MK = \begin{pmatrix} -C_v/M_b & 0 & 0 \\ 0 & -C_p/I_x & 0 \\ 0 & 0 & -C_q/I_y \end{pmatrix} \quad (16)$$

【0033】ここで、ショックアブソーバの伸縮による減衰力の条件を無視すれば、式(16)を満足するように設定したフィードバックゲイン  $K$  により、各モードの速度成分に比例した減衰力を発生することができる。

【0034】次に、ショックアブソーバの伸縮による減衰力の条件について考察する。まず、行列  $M$ 、 $N_v$ 、 $N_p$ 、 $N_q$  を次式(17)のように定義する。ただし、 $m$  は行列  $M$  の1列目、[上線付きの  $M$ ] は  $M$  の2~4列目から構成した行列で、[上線付き  $M$ ] は、正則行列である。

【0035】

【数9】

$$\left. \begin{aligned} M = \begin{pmatrix} 1 \text{列} & 2 \sim 4 \text{列} \\ m & \bar{M} \end{pmatrix} \quad N_v = \begin{pmatrix} -\gamma_{M_b} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\ N_p = \begin{pmatrix} 0 \\ -\gamma_{I_r} \\ 0 \end{pmatrix} \quad N_q = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\gamma_{I_y} \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} K_{v2} & K_{p2} & K_{q2} \\ K_{v3} & K_{p3} & K_{q3} \\ K_{v4} & K_{p4} & K_{q4} \end{pmatrix} = \bar{M}^{-1} [-(mK_{v1} \ mK_{p1} \ mK_{q1}) + (C_v N_v \ C_p N_p \ C_q N_q)] \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

【0036】式(17)の定義により、式(16)を書き換えると、次式(18)を得る。

【0037】

【数10】

【0038】制御系から各輪のショックアブソーバへの指令減衰力は次式(19)で決まり、これを式(18)に代入すれば、式(20)を得る。

【0039】

【数11】

$$\begin{pmatrix} f_{c1} \\ f_{c2} \\ f_{c3} \\ f_{c4} \end{pmatrix} = K \begin{pmatrix} v \\ p \\ q \end{pmatrix} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} f_{c1} \\ f_{c2} \\ f_{c3} \\ f_{c4} \end{pmatrix} &= \left[ \begin{pmatrix} 1 \\ -\bar{M}^{-1}m \end{pmatrix} K_{v1} + \begin{pmatrix} 0 \\ \bar{M}^{-1}N_v \end{pmatrix} C_v \right] v + \left[ \begin{pmatrix} 1 \\ -\bar{M}^{-1}m \end{pmatrix} K_{p1} + \begin{pmatrix} 0 \\ \bar{M}^{-1}N_p \end{pmatrix} C_p \right] p \\ &\quad + \left[ \begin{pmatrix} 1 \\ -\bar{M}^{-1}m \end{pmatrix} K_{q1} + \begin{pmatrix} 0 \\ \bar{M}^{-1}N_q \end{pmatrix} C_q \right] q \\ &= \begin{pmatrix} 1 \\ -\bar{M}^{-1}m \end{pmatrix} (K_{v1}v + K_{p1}p + K_{q1}q) + \begin{pmatrix} 0 \\ \bar{M}^{-1}N_v \end{pmatrix} v C_v + \begin{pmatrix} 0 \\ \bar{M}^{-1}N_p \end{pmatrix} p C_p + \begin{pmatrix} 0 \\ \bar{M}^{-1}N_q \end{pmatrix} q C_q \end{aligned} \quad (20)$$

【0040】さらに、式(22)に示されるスカラー変数  $C_r$ 、 $r$ を導入し、式(20)を整理すると、式(21)を得る。

【0041】

【数12】

$$\begin{pmatrix} f_{c1} \\ f_{c2} \\ f_{c3} \\ f_{c4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ -\bar{M}^{-1}m \end{pmatrix} r C_r + \begin{pmatrix} 0 \\ \bar{M}^{-1}N_v \end{pmatrix} v C_v + \begin{pmatrix} 0 \\ \bar{M}^{-1}N_p \end{pmatrix} p C_p + \begin{pmatrix} 0 \\ \bar{M}^{-1}N_q \end{pmatrix} q C_q \quad (21)$$

$$\left. \begin{aligned} C_r &= \sqrt{K_{v1}^2 + K_{p1}^2 + K_{q1}^2} \\ r &= (K_{v1}v + K_{p1}p + K_{q1}q) / C_r \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

ただし  $\begin{pmatrix} 1 \\ -\bar{M}^{-1}m \end{pmatrix}$ 、 $\begin{pmatrix} 0 \\ \bar{M}^{-1}N_v \end{pmatrix}$ 、 $\begin{pmatrix} 0 \\ \bar{M}^{-1}N_p \end{pmatrix}$ 、 $\begin{pmatrix} 0 \\ \bar{M}^{-1}N_q \end{pmatrix}$  は1次独立

【0042】ここで、ショックアブソーバの伸縮による減衰力の条件は、式(23)で表される。

【0043】

【数13】

$$f_{ci} = C_{si} \cdot s_i \quad (C_{si} \geq 0) \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad (23)$$

【0044】式(25)に定める変数 $\delta_i$ を導入して、  
式(23)を式(21)に代入して整理すると、式(24)を得る。

【0045】  
【数14】

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\bar{M}^{-1}m & \bar{M}^{-1}N_v & \bar{M}^{-1}N_p & \bar{M}^{-1}N_q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} rC_r \\ vC_v \\ \rho C_p \\ qC_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \delta_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \delta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \delta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \delta_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{s1}s_1/\delta_1 \\ C_{s2}s_2/\delta_2 \\ C_{s3}s_3/\delta_3 \\ C_{s4}s_4/\delta_4 \end{pmatrix} \quad (24)$$

$$\delta_i = \begin{cases} 1 & (s_i \geq 0) \\ -1 & (s_i < 0) \end{cases} \quad (i=1,2,3,4) \quad (25)$$

【0046】さらに、式(26)で示される行列 $T_{11}$ 、  
 $T_{12}$ 、 $T_{21}$ 、 $T_{22}$ および式(27)変数 $z_i$ を導入し、  
 $r$ が0でないの仮定し、式(24)から変数 $C_r$ を消去  
すると式(28)を得る。  
【0047】  
【数15】

$$\begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \delta_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \delta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \delta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \delta_4 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\bar{M}^{-1}m & \bar{M}^{-1}N_v & \bar{M}^{-1}N_p & \bar{M}^{-1}N_q \end{pmatrix} \quad (26)$$

ただし  $T_{11} \in R^{1 \times 1}$ ,  $T_{12} \in R^{1 \times 3}$ ,  $T_{21} \in R^{3 \times 1}$ ,  $T_{22} \in R^{3 \times 3}$

$$z_i = C_{si}s_i / \delta_i \geq 0 \quad (i=1,2,3,4) \quad (27)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} T_{22} - T_{21}T_{11}^{-1}T_{12} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} vC_v \\ \rho C_p \\ qC_q \end{pmatrix} \quad (28)$$

【0048】さらに、各輪の減衰力の和を最小にして、  
式(27)、(28)を満たす各輪の減衰力の組み合わせを  
求めることとする。すなわち、式(27)、(28)、  
(29)で表される線形計画問題(以下、LP問題と記す)  
を解くこととする。なお、式(29)は各輪

の減衰力の和を最小にする減衰力を決定する演算を意味する。

【0049】  
【数16】

$$z_i = C_{si}s_i / \delta_i \geq 0 \quad (i=1,2,3,4) \quad (27)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} T_{22} - T_{21}T_{11}^{-1}T_{12} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} vC_v \\ \rho C_p \\ qC_q \end{pmatrix} \quad (28)$$

$$\min_{z_1, z_2, z_3, z_4} (z_1 + z_2 + z_3 + z_4) \quad (29)$$

【0050】LP問題については、以下のことが知られている。

【0051】1. LP問題では、有解な解(最適解)が存在すれば、その解は、条件式(ここでは、式(27)、(28)に対応する)の指定する半超平面の共通部分(可能領域)の頂点(端点)、またはそれを含む超平面上に存在する。

2. 変数(ここでは、 $z_i$ )と、その相互関係を表す式(ここでは式(28))に対し、変数の数 $n$ (ここでは

4)から、式の数 $m$ (ここでは3)を引いた $n-m$ 個の変数を0とおいて得られる解(基底解)の数はたかだか $n-Cm$ 個(ここでは4)である。

3. 基底解のうち非負条件(ここでは式(27))を満たすものを基底可能解と称し、基底解が基底可能であることと、可能領域の端点に対応することは等価である。

【0052】4. もし全ての評価関数の係数(ここでは式(29)の係数)が非負であれば、基底可能解は最適解である。

【0053】このようなLP問題の特性より、本実施形態で取り扱う問題はたかだか4個の基底解しか持ち得ないので、今回は4個の基底解に対応する行列、例えば式(30)をあらかじめ用意し、オンラインでは、式(28)で計算される $z_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) (基底解)が、式(29)を満たすか否か(基底可能解であるか否か)を判断し、条件を満たしていればその値を用いて制御を行

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -T_{21}T_{11}^{-1} \\ -T_{22}T_{11}^{-1}T_{12} \end{pmatrix} \quad (30)$$

【0055】図3は、上述したMD制御法によるシミュレーション結果を示す図である。車体のロールモードに関する重みを変化させたときの、各モードの振動状態を示している。なお、入力は、上下振動、ロール、ピッチが同時に励起されるように適切な路面入力を与えている。右側のグラフがロールの重みを小さくしたとき、左側が大きくなったとき、中がその中間である。また、上段がZ軸方向の並進振動(ヒープ)、中段がX軸周りの回転振動(ロール)、下段がY軸周りの回転振動(ピッチ)を表している。

【0056】ロール速度は、ショックアブソーバの発生できる力が伸縮方向により制約されるため、ロールの重みの大小にかかわらず、負側のピークについては変化がほとんどみられない。一方、正側のピークについては、重みを軽減するにつれて相加する傾向がみられ、ロール重みの大小と、ロール方向の制振性能が良く対応している。また、ヒープ、ピッチに関しては、ロールの重みの大小にかかわらず、それらのピークはほぼ一定であり、ロールの重みの大小が、ヒープ、ピッチ方向の制振性能に干渉していないことがわかる。

【0057】図4は、SH制御法とMD制御法による制振効果を比較した結果を示す図である。一つのモードに

うこととする。また、解が存在しない場合には、必ずしもモードごとの非干渉条件は満たしていないが、あらかじめ用意しておいた $Kv1$ ,  $Kp1$ ,  $Kq1$ と式(21)により減衰力を設定する。

【0054】

【数17】

対し重みを大、中、小と変化させたときの、各モードの制振効果を示している。MD制御法において、上段はヒープ、中段はロール、下段はピッチに関する重みを変化させたときの各モードの変化を示すグラフである。SH制御法においては、ロール、ピッチの概念がないので、いずれもヒープに関する重み付けを変化させている。各図において、縦軸の値が小さい方が制振効果が大きいことを示している。図から理解されるように、MD制御法によれば、重みを変化させたモードのみ制振特性が変化しており、他のモードについての特性変化はほとんどない。すなわち、MD制御法によれば、振動制御の特性を他のモードから独立して調整可能であることが分かる。なお、SH制御法の場合は、ヒープモードの重みを調整することにより他のモードも変化してしまう。

【0058】次に、MD制御法における具体的な制御アルゴリズムを説明する。

【0059】ステップ0: 各モードごとの減衰係数を以下のように求める。まず、式(31)の行列を計算する。

【0060】

【数18】

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -D_f/2 & D_f/2 & -D_r/2 & D_r/2 \\ -L_f & -L_f & L_r & L_r \end{pmatrix} \begin{pmatrix} K_{d1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{d2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_{d3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_{d4} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & -D_f/2 & -L_f \\ 1 & D_f/2 & -L_f \\ 1 & -D_r/2 & L_r \\ 1 & D_r/2 & L_r \end{pmatrix} \quad (31)$$

【0061】この行列の1行1列、2行2列、3行3列成分を、それぞれヒープ方向のばね定数 $K_v$ 、ロール方向のばね定数 $K_p$ 、ピッチ方向のばね定数 $K_q$ と近似し、各方向の減衰比 $\xi_v$ ,  $\xi_p$ ,  $\xi_q$ を導入し、式(32)より各モードごとの減衰係数 $C_v$ ,  $C_p$ ,  $C_q$ を求める。

【0062】

【数19】

$$\begin{aligned} C_v &= 2.0 \xi_v M_b \sqrt{K_v / M_b} \\ C_p &= 2.0 \xi_p I_x \sqrt{K_p / I_x} \\ C_q &= 2.0 \xi_q I_y \sqrt{K_q / I_y} \end{aligned} \quad (32)$$

【0063】次に、式(21)を式(33)のように整理する。

【0064】

【数20】

$$\begin{pmatrix} f_{c1} \\ f_{c2} \\ f_{c3} \\ f_{c4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ -\overline{M}^{-1}m \end{pmatrix} (K_{v1}v + K_{p1}p + K_{q1}q) + \begin{pmatrix} 0 \\ \overline{M}^{-1}N_v \end{pmatrix} vC_v + \begin{pmatrix} 0 \\ \overline{M}^{-1}N_p \end{pmatrix} pC_p + \begin{pmatrix} 0 \\ \overline{M}^{-1}N_q \end{pmatrix} qC_q$$

$$= M_{ni} \begin{pmatrix} v \\ p \\ q \end{pmatrix} \quad (33)$$

【0065】そして、前後輪のロール配分を $\alpha : (1 - \alpha)$ に設定する行列 $Mn0$ を、以下のように求める。行列 $M_i$ 、 $N_i$ を式(34)のように定め、行列 $MN_i$ の1行目1列を $K_{v1}$ 、1行目2列を $K_{p1}$ 、1行目3列を $K_{q1}$

とし、次式で行列 $Mn0$ を決める。

【0066】

【数21】

$$M_i = \begin{pmatrix} M \\ \alpha \frac{L_f}{L_f + L_r} \begin{bmatrix} -D_{f1} & D_{f1} \end{bmatrix} (1 - \alpha) \frac{L_r}{L_f + L_r} \begin{bmatrix} -D_{r1} & D_{r1} \end{bmatrix} \end{pmatrix} \quad (34)$$

$$N_i = \begin{pmatrix} N_v C_v & N_p C_p & N_q C_q \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$MN_i = M_i^{-1} N_i$$

$$M_{n0} = \begin{pmatrix} 1 \\ -\overline{M}^{-1}m \end{pmatrix} (K_{v1} \ K_{p1} \ K_{q1}) + \begin{pmatrix} 0 \\ \overline{M}^{-1}N_v \end{pmatrix} C_v + \begin{pmatrix} 0 \\ \overline{M}^{-1}N_p \end{pmatrix} C_p + \begin{pmatrix} 0 \\ \overline{M}^{-1}N_q \end{pmatrix} C_q \quad (35)$$

【0067】次に、式(27)～(29)の線形計画問題の解を満たす4つの行列 $Mn1$ 、 $Mn2$ 、 $Mn3$ 、 $Mn4$ を(36)式のように定義する。以上は、オフラインで計

算する。

【0068】

【数22】

$$M_{n1} = \begin{pmatrix} \phi_{1 \times 3} \\ \tilde{M}_{n1} | 1 \\ \tilde{M}_{n1} | 2 \\ \tilde{M}_{n1} | 3 \end{pmatrix} M_{n2} = \begin{pmatrix} \tilde{M}_{n2} | 1 \\ \phi_{1 \times 3} \\ \tilde{M}_{n2} | 2 \\ \tilde{M}_{n2} | 3 \end{pmatrix} M_{n3} = \begin{pmatrix} \tilde{M}_{n3} | 1 \\ \tilde{M}_{n3} | 2 \\ \phi_{1 \times 3} \\ \tilde{M}_{n3} | 3 \end{pmatrix} M_{n4} = \begin{pmatrix} \tilde{M}_{n4} | 1 \\ \tilde{M}_{n4} | 2 \\ \tilde{M}_{n4} | 3 \\ \phi_{1 \times 3} \end{pmatrix} \quad (36)$$

$M | i$  は行列  $M$  の第  $i$  列の行ベクトル

ただし

$$\begin{aligned} \tilde{M}_{n1} &= \begin{pmatrix} m_{c2} & m_{c3} & m_{c4} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_v C_v & N_p C_p & N_q C_q \end{pmatrix} \\ \tilde{M}_{n2} &= \begin{pmatrix} m_{c1} & m_{c3} & m_{c4} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_v C_v & N_p C_p & N_q C_q \end{pmatrix} \\ \tilde{M}_{n3} &= \begin{pmatrix} m_{c1} & m_{c2} & m_{c4} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_v C_v & N_p C_p & N_q C_q \end{pmatrix} \\ \tilde{M}_{n4} &= \begin{pmatrix} m_{c1} & m_{c2} & m_{c3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_v C_v & N_p C_p & N_q C_q \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$m_{cj}$  は行列  $M$  の第  $i$  列の列ベクトル

【0069】ステップ1： 式(37)で減衰力を求め、求められた減衰力が各々のショックアブソーバの伸縮速度で実現可能なら、求められた減衰力を発生する。もし、実現不可能であれば次のステップに進む。

【0070】

【数23】

$$\begin{pmatrix} f_{c1} \\ f_{c2} \\ f_{c3} \\ f_{c4} \end{pmatrix} = M_{n0} \begin{pmatrix} v \\ p \\ q \end{pmatrix} \quad (37)$$

【0071】ステップ2： 式(38)で減衰力を求め、求められた減衰力が各々のショックアブソーバの伸縮速度で実現可能なら、求められた減衰力を発生する。もし、実現不可能であれば次のステップに進む。

【0072】

【数24】

$$\begin{pmatrix} f_{c1} \\ f_{c2} \\ f_{c3} \\ f_{c4} \end{pmatrix} = M_{n1} \begin{pmatrix} v \\ p \\ q \end{pmatrix} \quad (38)$$

【0073】ステップ3： 式(39)で減衰力を求め、求められた減衰力が各々のショックアブソーバの伸

縮速度で実現可能なら、求められた減衰力を発生する。もし、実現不可能であれば次のステップに進む。

【0074】

【数25】

$$\begin{pmatrix} f_{c1} \\ f_{c2} \\ f_{c3} \\ f_{c4} \end{pmatrix} = M_{n2} \begin{pmatrix} v \\ p \\ q \end{pmatrix} \quad (39)$$

【0075】ステップ4： 式(40)で減衰力を求め、求められた減衰力が各々のショックアブソーバの伸縮速度で実現可能なら、求められた減衰力を発生する。もし、実現不可能であれば次のステップに進む。

【0076】

【数26】

$$\begin{pmatrix} f_{c1} \\ f_{c2} \\ f_{c3} \\ f_{c4} \end{pmatrix} = M_{n3} \begin{pmatrix} v \\ p \\ q \end{pmatrix} \quad (40)$$

【0077】ステップ5： 式(41)で減衰力を求め、求められた減衰力が各々のショックアブソーバの伸縮速度で実現可能なら、求められた減衰力を発生する。もし、実現不可能であれば次のステップに進む。

【0078】

【数 27】

$$\begin{pmatrix} f_{c1} \\ f_{c2} \\ f_{c3} \\ f_{c4} \end{pmatrix} = M_{n4} \begin{pmatrix} v \\ p \\ q \end{pmatrix} \quad (41)$$

【0079】ステップ6：式(42)で減衰力を求め、求められた減衰力を発生する。このケースは、非干渉化の上限が崩れている。

【0080】

【数 28】

$$\begin{pmatrix} f_{c1} \\ f_{c2} \\ f_{c3} \\ f_{c4} \end{pmatrix} = M_{n0} \begin{pmatrix} v \\ p \\ q \end{pmatrix} \quad (42)$$

【0081】ステップ7：ステップ1へ戻る。

【0082】以上説明した減衰力の演算方法を用いて、各種センサからの情報に基づき求められた車両の運動状態に適した減衰力を各輪に対し発生させ、車両の振動を抑制する。具体的には、車体の各部に備えられたセンサからの信号が、車載のコンピュータに送られ、ここで所

定のプログラムに従って前述の演算が実行される。そして、算出された減衰力を発生するように、各輪に備えられたショックアブソーバの減衰特性の調整が実行される。ショックアブソーバの減衰特性の調整は、例えば、ショックアブソーバ内の流体の通路に設けられたオリフィスの断面積を変更することで実行可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】車両の振動モデルを示す図である。

【図2】単輪の振動モデルを示す図である。

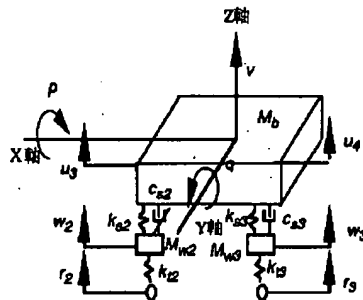
【図3】本実施形態の制振制御を適用した結果を示す図である。

【図4】本実施形態の制振制御と、スカイフック制御を比較した図である。

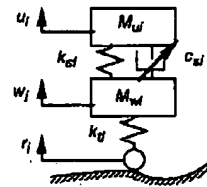
【符号の説明】

Mb 車体質量、p X軸周りの回転速度、q Y軸周りの回転速度、z Z軸方向の車体重心の速度、C 車体運動に関する減衰係数、cs 懸架装置の減衰係数、ks 懸架装置のばね定数、p (添え字) X軸周りの運動に関する定数または変数、q (添え字) Y軸周りの運動に関する定数または変数、v (添え字) Z軸方向の重心の運動に関する定数または変数。

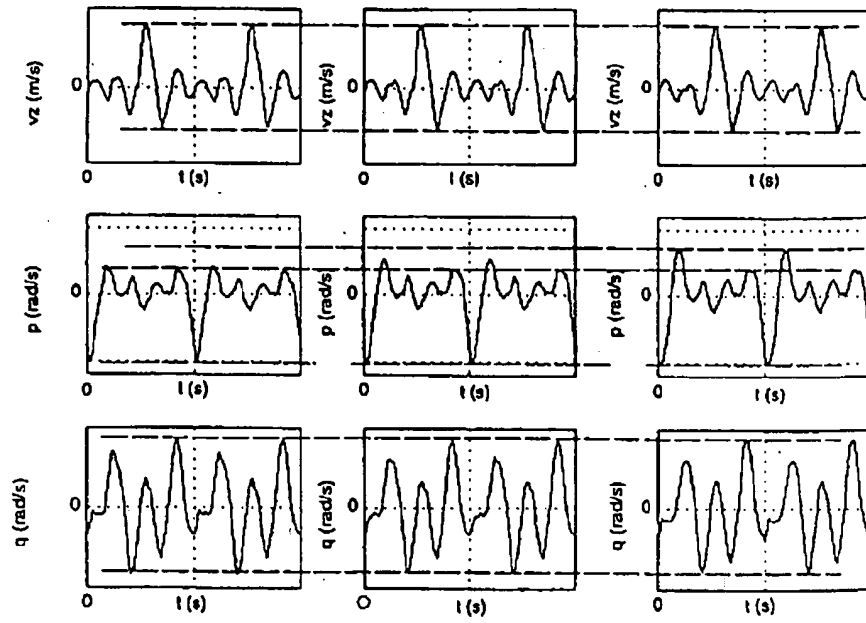
【図 1】



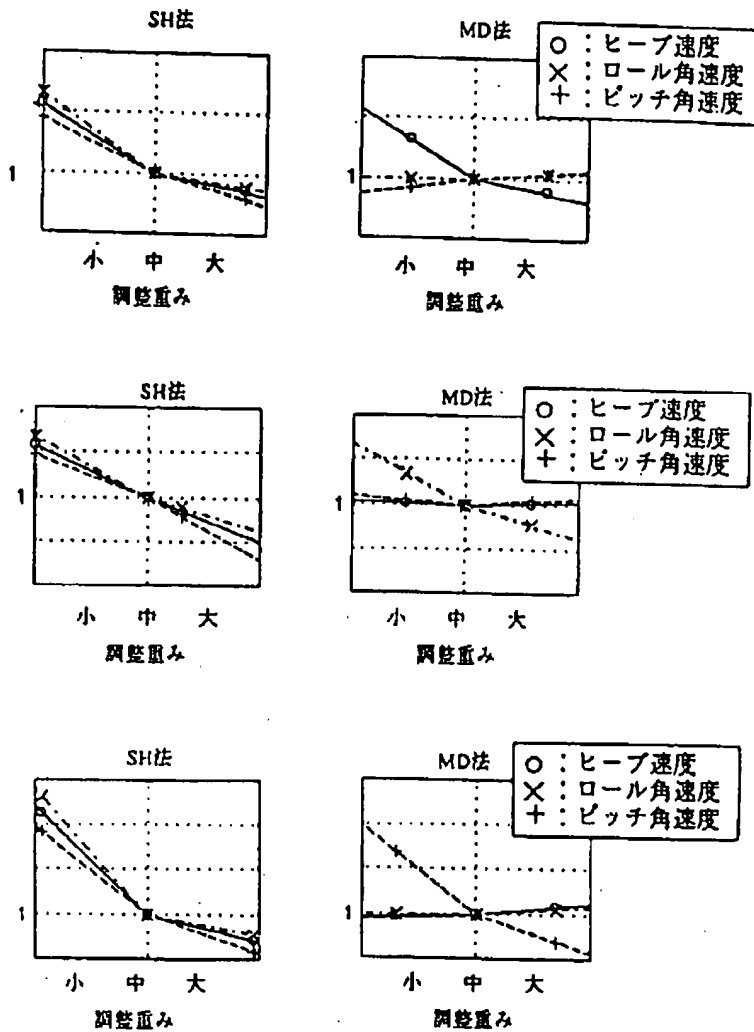
【図 2】



【图 3】



【図4】



フロントページの続き

(72) 発明者 上村 一整

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

(72) 発明者 大作 覚

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

Fターム(参考) 3D001 AA02 AA03 AA04 BA01 DA17

EA00 EA01 EA02 EA06 EA07

EA08 EA42 EB08 EB32 EC08

ED02 ED11 ED14